



Araştırma Makalesi

Toprak Nemi Belirlenmesinde Tansiyometrenin Arazi Kalibrasyonu

Sinan ARAS^{a,*}, Şerafettin ÂŞIK^b^a Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi, İzmir, Türkiye^b Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, İzmir, Türkiye

ÖNE ÇIKANLAR

- Tansiyometre toprak su içeriğinin tespitinde kullanılabilir.
- Tansiyometre ve diğer dolaylı toprak içeriği belirleyen aygıtların kullanım öncesinde arazi kalibrasyonlarının yapılması gerekir.

MAKALE BİLGİSİ

Anahtar kelimeler:

Toprak nemi
Tansiyometre
Kalibrasyon
Gravimetrik nem

Geliş tarihi: 02 Mayıs 2025

Revizyon tarihi: 23 Ekim 2025

Kabul tarihi: 31 Ekim 2025

Yayın tarihi: 15 Aralık 2025

*Sorumlu yazar:

arassinan@gmail.com

ÖZET

Bu çalışma 2013 yılında Menemen Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü araştırma arazisinde yürütülmüştür. Araştırma faaliyetlerinin yürütüldüğü araştırma parselinde farklı toprak katmanlarında gravimetrik yöntem kullanılarak tansiyometrelerin kalibrasyonları gerçekleştirilmiştir. Tansiyometre geçmişten günümüze toprak nemini tespit etmek amaçlı kullanılan basit bir alettir. Toprak ozmotik basınç değişimine bağlı olarak olası toprak nem değeri hakkında bilgi vermektedir. Ancak toprak bünye, yapı, vb. faktörler bu aletlerin direkt kullanımını kısıtlamaktadır. Bu sebeple bu aletler kullanıldıkları alanlarda kalibrasyonu gerekmektedir. Kalibrasyonları yapılan tansiyometrelerin gösterdikleri performans toprak derinliğine göre değişiklik göstermiştir. 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-70 cm için tansiyometrelere ait R^2 değerleri sırasıyla 0.84, 0.75 ve 0.67 olarak bulunmuştur. Ortalama karekök hatası (RMSE) değerleri aynı derinlikler için sırasıyla 2.44, 4.49 ve 4.46 olarak tespit edilmiştir. Her bir derinlik için denklem elde edilmiştir. Çalışmanın son kısmına ise tüm toprak derinlikleri için tek bir denklem elde edilmiştir. Sonuç olarak Tüm toprak derinlikleri için Tansiyometre ile gravimetrik nem içeriği arasında tüm toprak derinlikleri dikkate alındığında tansiyometre ile gravimetrik nem içeriği arasında $y = 45.046 - 0.4922x$ eşitliği elde edilmiştir. Söz konusu tüm derinlikler için elde edilen RMSE değeri 5.2 olarak bulunmuştur.

Field Calibration of Tensiometer in Soil Moisture Determination

Sinan ARAS^{a,*}, Şerafettin ÂŞIK^b

^a International Agricultural Research and Training Center, Department of Agricultural Irrigation and Land Reclamation, İzmir, Türkiye

^b Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Farming Structures and Irrigation, İzmir, Türkiye

HIGHLIGHTS

- Tensiometers can be used to determine soil water content.
- Tensiometers and other indirect soil content determination devices must be field calibrated before use for sustainable agriculture.

ARTICLE INFO

Keywords:

Soil moisture

Tensiometer

Calibration

Gravimetric moisture

Received: 02 May 2025

Revised : 23 October 2025

Accepted: 31 October 2025

Published: 15 December 2025

*Corresponding author:

arassinan@gmail.com

ABSTRACT

This study was conducted in 2013 on the research land of the Menemen International Agricultural Research and Training Center. Tensiometers were calibrated using the gravimetric method in different soil layers within the research plot where the research activities were conducted. A tensiometer is a simple tool used to determine soil moisture throughout history. It provides information about probable soil moisture values based on changes in soil osmotic pressure. However, factors such as soil texture and structure limit the direct use of these instruments. Therefore, these instruments require calibration in the areas where they are used. The performance of the calibrated tensiometers varied depending on the soil depth. The R² values of the tensiometers for the 0-25 cm, 25-50 cm, and 50-70 cm depths were found to be 0.84, 0.75, and 0.67, respectively. The root mean square error (RMSE) values were determined as 2.44, 4.49, and 4.46 for the same depths, respectively. Equations were obtained for each depth. In the final part of the study, a single equation was obtained for all soil depths. Consequently, the equation $y = 45.046 - 0.4922x$ was obtained between the tensiometer and gravimetric moisture content for all soil depths. The RMSE value obtained for all depths was found to be 5.2.

1. GİRİŞ

Canlıların yaşamı açısından suyun önemi ve küresel ölçekteki dağılımı üzerine pek çok araştırma gerçekleştirilmiştir. Dünya üzerindeki toplam su hacmi yaklaşık 1,4 milyar kilometreküptür. Bu miktarın %97,5'i okyanuslar ve denizlerde yer alan tuzlu sudan oluşurken, yalnızca %2,5'i tatlı su şeklindedir. Türkiye'nin ortalama yıllık ortalama yağış oranı 574 mm olup, bu yağışın toplam su karşılığı 450 milyar m³ tür (DSİ, 2025). Bu miktarın 274 milyar metreküpü buharlaşarak atmosfere geri dönerken, 158 milyar metreküpü yüzey akışıyla deniz ve göllere ulaşmaktadır. Kalan 69 milyar metreküplük su ise yeraltına sızarak yeraltı suyunu oluşturur. Bu yeraltı suyunun 28 milyar metreküpü kaynaklar yoluyla yüzey sularına karışmaktadır. Ayrıca, Meriç ve Asi gibi sınır ötesi akarsular yoluyla Türkiye'ye yılda ortalama 7 milyar metreküp su girişi olmaktadır. Yeraltı suyunu karışan 41 milyar metreküp suyla birlikte ülkemizin toplam yenilenebilir brüt su potansiyeli

234 milyar metreküpe ulaşmaktadır (Akın ve Akın, 2007; Burak vd., 1997; Öziş vd., 1997). Mevcut teknik ve ekonomik olanaklarla değerlendirilebilecek yıllık yüzey suyu potansiyeli ise ortalama 98 milyar metreküptür (DSİ, 2025).

Tarımda suyun verimli kullanılabilmesi için öncelikle ilgili bitkinin su tüketiminin ve toprağın nem durumunun doğru bir biçimde tespit edilmesine bağlıdır. Bitkilerin ihtiyaç duyduğu su miktarı, yetiştirilen türlere, iklim koşullarına ve toprak özelliklerine göre farklılık gösterebilir (Gerçek, 1991). Topraktaki nem düzeyi; bitkinin gelişimi, besin elementlerinin profildeki hareketi, toprağın hava alabilirliği, suyun toprakta süzülmesi ve yüzey akışı gibi faktörleri doğrudan etkiler. Ayrıca, nem içeriği toprağın plastikliği, kıvamı ve şişip-büzülme gibi fiziksel özelliklerini de belirleyen bir unsurdur (Öztaş, 1997). Kısaca toprak neminin doğrudan ve dolaylı olarak birçok parametre üzerinde etkisi vardır ve toprak nemini basit bir şekilde tespit edebilmek önemlidir.

Bitkilerin yağışlarla (kar + yağmur)

karşılanamayan su ihtiyacının çeşitli yöntemlerle bitki kök bölgesine verilmesine sulama denir. Başarılı bir sulama uygulaması, topraktaki nemin bilinmesi ve bu bilgiye göre planlama yapılmasıyla mümkündür (Gerçek, 1991).

Toprakta bulunan nem miktarını belirlemeye yönelik çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan en temel kabul göreni topraktaki suyun kütlesinin doğrudan ölçülmesine dayanan gravimetrik yöntemdir. Diğerleri ise, toprak nemine bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerin ölçülmesi esasına dayanan dolaylı yöntemlerdir.

Toprak neminin belirlenmesinde başlıca iki yöntem kullanılır: birincisi, suyun kütlesine dayalı doğrudan ölçüm yöntemi olan gravimetrik yöntem; ikincisi ise toprakta nemle değişen bazı özelliklerin ölçümüne dayanan dolaylı yöntemlerdir. Gravimetrik yöntem, standart bir yöntem olarak kabul edilir ve toprak yapısından veya tuzluluktan etkilenmemesi, ayrıca hesaplamasının basit olması gibi avantajlar sunar. Ancak, bu yöntemde aynı noktadan birden fazla örnek alınamaması, örnek alındıktan sonra işlem prosedürlerinin çok olması, her derinlik katmanı için örnek alınması gerekmesi, devamlı nem takibi yapılamaması, örnek alınırken fazla işçilik harcanması gibi problemler de söz konusudur. Ölçüm sonuçlarının anında değerlendirilememesi de önemli bir dezavantajdır. Diğer taraftan, gravimetrik yöntem toprağın nem en doğru tespit eden yöntemdir. Bu sebeple diğer cihazların kalibrasyonu içinde gravimetrik yöntem değerleri kullanılır.

Dolaylı yöntemlerde, toprağın bazı fiziksel ya da kimyasal özelliklerinin, içerdiği su miktarına bağlı olarak gösterdiği değişimler temel alınır. Bu yöntemlerin çoğunda, sabit sensörlerin toprağa yerleştirilmesi ya da ölçüm sırasında özel deliklere geçici olarak sensörlerin konulması yoluyla nem verisi elde edilir (Tülün, 2005). Dolaylı ölçüm tekniklerinin en önemli avantajı, doğrudan yöntemlerin aksine, hızlı ve devamlı nem ölçümünün anlık ve sürekli yapılabilmesidir.

Toprak, yapısındaki parçacıklar sayesinde suyu ince film halinde tutar. Topraktaki su miktarı arttıkça bu film kalınlaşır ve gözenekleri doldurmaya başlar. Ancak suyun bir bölümü, yerçekimi etkisiyle daha derin katmanlara doğru hareket eder. Topraktan suyun alınabilmesi için belirli bir enerji gereklidir; bu enerji, negatif bir basınç değeri ile ifade edilir. Topraktaki nem azaldıkça, su daha kuvvetli tutulur ve dolayısıyla bitkinin bu suya ulaşabilmesi için daha fazla

enerjiye ihtiyaç duyulur. (Çetin, 2003; Güngör ve Erözel, 1994; Güngör & Yıldırım, 1989).

Bu çalışmada toprağın nem değerinin belirlenmesinde negatif basınç kuvveti ile çalışan tansiyometrenin ne derece başarılı olduğu konusu araştırılmıştır. Bu bağlamda tansiyometrenin gösterdiği nem değerleri ile gravimetrik yöntemle elde edilen nem değerleri karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Araştırma Alanı

Bu çalışma, Menemen Ovası sınırları içerisinde bulunan Menemen Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi'nin araştırma arazisinde yürütülmüştür (Şekil 1). Araştırma sahası, Türkiye'nin batısında yer alan Ege Bölgesi'nde bulunmaktadır. Ege Bölgesi, 36° ile 41° kuzey enlemleri ve 26° ile 30° doğu boylamları arasında konumlanmış olup yaklaşık 8,2 milyon hektarlık bir yüzölçümüne sahiptir. Bölgede, Susurluk, Gediz, Bakırçay, Büyük ve Küçük Menderes nehirleri tarafından sulanan verimli tarım ovaları yer almaktadır. Batı Anadolu'da bulunan dört ana vadiden biri olan ova, havza genişliği ve taban alanı açısından ikinci sırada gelir. Bu vadi, kuzeyde Bakırçay, güneyde ise Küçük ve Büyük Menderes Havzaları ile sınırlanmıştır. Alüvyal yapıdaki ova tabanı, Manisa'nın batısındaki Emiralem Boğazı tarafından iki bölüme ayrılmıştır. Boğaz ile deniz arasında kalan bölüm, Menemen Ovası olarak adlandırılmakta ve 33.545 hektarlık bir alanı kaplamaktadır. Ovanın doğusunda Yamanlar Dağı, kuzeyinde ise Foça'ya ait dağlık alanlar yer alır. Deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 10,3 metredir (Topraksu, 1971).

2.2. Araştırma Yerinin İklim ve Toprak Özellikleri

Menemen Ovası, Akdeniz İklimi etkisi altındadır; yaz mevsimi genellikle sıcak ve kurak, kış mevsimi ise ılık ve yağışlı geçmektedir. Uzun yıllar boyunca elde edilen iklim ortalamalarına göre bölgedeki yıllık toplam yağış miktarı 540 mm civarındadır. Ortalama sıcaklık 16,9 °C düzeyindedir; Temmuz ayı 27 °C ile yılın en sıcak ayı olurken, Ocak ayı 7,8 °C ile en soğuk ay olarak kaydedilmiştir. Ortalama bağıl nem oranı %57,8 olup, bu değer Aralık ayında %67,3 ile zirveye çıkarken, Temmuz ayında %46,7 ile en düşük seviyeye inmiştir. Yıllık toplam buharlaşma miktarı 1513 mm olarak ölçülmüş; buharlaşmanın

en düşük olduğu ay 44,1 mm ile Aralık, en yüksek olduğu ay ise 259.8 mm ile Temmuz olmuştur. Bu veriler, Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Rasat İstasyonu'nun 1954-2013 yılları arasındaki iklim ortalamalarına dayanmaktadır (MGM, 2014).

Menemen Ovası topraklarının büyük bölümü orta ile orta-ağır yapılıdır; ancak eski Gediz Nehri yatağının çevresinde daha hafif bünyeli topraklar görülürken, batıya doğru ilerledikçe toprak yapısı ağırlaşmaktadır (Çizelge 1) Ova, alüvyonlarla kaplı düzlükleri ve kolüvyonlu dağ eteklerini kapsamaktadır. Menemen Ovası, 5 ana toprak birliği içinde yer alan toplam 16 farklı toprak serisini barındırmaktadır. Genellikle yüksek

arazilerde bulunan Ulucak serisi hariç tutulduğunda, ovada en yaygın görülen toprak serileri sırasıyla %24,5 ile Süzbeyli, %17,8 ile Gediz ve %13 ile Eskiyyatak'tır. Yan alüvyonlar ve kolüvyon araziler üzerindeki topraklar iyi drenajlı olmasına karşın, Gediz ve Havaalanı serileri orta derecede ya da yetersiz drenaja sahiptir. Ovanın düşük kotlarında bulunan Gürle, Süzbeyli ve Tuzcullu serileri ise genellikle yetersiz drenaj özellikleri göstermektedir. Gediz Nehri'nin getirdiği alüvyonlarla oluşan delta ve ova tarıma elverişlidir; ancak deniz seviyesine yakın alanlarda tuzlu bataklıklar da yer almaktadır. (Topraksu, 1971).



Şekil 1. Çalışma alanına ilişkin görsel

2.1.3. Tansiyometre ile Toprak Nem Tayini

Tansiyometre; toprağın matriks potansiyelini ölçerek toprak nem içeriğini belirlemek için kullanılan bir alettir. Tansiyometre, şeffaf boruya benzer bir gövde alt ucunda gözenekli yapıda olan seramik bir uç ve üst kısmında toprak matriks basıncını ölçen bir manometreden oluşur. Manometre toprak dışarıda olacak şekilde ve dik olarak toprağa yerleştirilen tansiyometrenin içindeki saf suyun seramik uçtan toprağa geçmesi ve bu sırada bir vakum oluşması, aygıtın temel çalışma prensibidir (Kirkham, 2014).

Tansiyometre içerisinde bulunan su, toprak içeriğindeki suyla dengeye gelene kadar seramik uçtan toprağa doğru sızar. Tansiyometre içerisindeki suyla topraktaki su içeriği denge durumundayken tansiyometre ve topraktaki suyun basınçları birbirine eşittir. Topraktaki nem miktarı azaldıkça tansiyometredeki su toprağa doğru geçeceği için tansiyometre içindeki negatif basınç nicel olarak artış gösterecektir. Çalışmada seramik uçlu tansiyometreler kullanılmış olup okumalar Theis Clima marka dijital okuyucu ile yapılmıştır.

2.1.4. Araştırmada Kullanılan Bitkisel Materyal

Araştırmada toprak neminin düşerek solma noktasına düşebilmesi için pamuk bitkisi yetiştirilmiştir. Pamuk, sıra arası 70 cm ve sıra üzeri 30 cm olacak şekilde ekilmiştir. Tansiyometreler iki sıranın arasına yerleştirilmiştir. Araştırmada May 373 pamuk çeşidi kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Tansiyometre kalibrasyonu yapılabilmesi amacıyla, tansiyometre okumaları ile eş zamanlı olarak gravimetrik toprak nem örnekleri alınmış elde edilen veriler regresyon analizine tabi tutularak, iki yöntem arasındaki ilişki ortaya konmuştur.

2.2.1. Toprak Nem İçeriğinin Tayini

İlk olarak, toprak nem içeriğini tespit etmek için 0-25, 25-50, 50-70, 70-90, 90-105 cm derinliklerden toprak burgusu ile örnekler alınmıştır. Sonra tarla kapasitesi solma noktası, hacim ağırlık, mevcut nem, vb. hesaplamalar Güngör ve ark., 2000' de tanımlanan ilkelere göre yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan nihai eşitlikler Eşitlik 1 ve 2' de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3' de verilmiştir.

$$Pw = [(Yaş\ Ağırlık - Kuru\ Ağırlık) / Kuru\ Ağırlık] \times 100 \quad (1)$$

Elde edilen ağırlık esaslı nem değerleri, hacimsel toprak nem içeriğine çevrilmek üzere Eşitlik 2'den yararlanılmıştır.

$$Pv = Pw \times \gamma_t \quad (2)$$

Pv : Hacimsel toprak nem içeriği (%)

Pw : Ağırlık esaslı toprak nem içeriği (%)
 γ_t : Toprak hacim ağırlığı (g/cm³)

2.2.2. Deneme Parselinin Oluşturulması ve Ölçümlerin Yapılması

Çalışma, 6 x 6 metre boyutlarında olup çevresi 70 cm yüksekliğinde bir seddeyle sınırlandırılmış bir parselde gerçekleştirilmiştir. Tansiyometrelerin yerleştirilmesinin ardından, deneme alanı 120 cm'lik toprak derinliği esas alınarak tarla kapasitesine kadar sulanmış ve sezon boyunca topraktaki nem azalmasına bağlı olarak düzenli ölçümler yapılmıştır.

Toplamda 9 adet tansiyometre, her biri arasında 15 cm mesafe bırakılarak, 0-25, 25-50 ve 50-70 cm toprak katmanlarını temsil edecek şekilde sırasıyla 15 cm, 35 cm ve 60 cm derinliklere yerleştirilmiştir. Tansiyometrelerin seramik uçlarının sağlıklı çalışıp çalışmadığını kontrol etmek amacıyla, alana kurulmadan önce kapakları açılarak su dolu bir kovaya daldırılmış ve seramik uçlar tamamen su içinde kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Belirli bir süre sonunda, kovadaki su ile tansiyometre içinde bulunan su seviyelerinin dengeye ulaşıp ulaşmadığı gözlemlenmiştir.

Kalibrasyon eğrilerinin oluşturulabilmesi için, tansiyometre okumalarıyla eş zamanlı olarak, her tansiyometrenin bulunduğu derinlikten toprak burgusu kullanılarak gravimetrik toprak nem örnekleri alınmış ve bu örneklerden hacimsel nem değerleri hesaplanmıştır. Gravimetrik örnekleme işlemi, tansiyometrelerin yerleştirildiği noktalar merkez alınarak yaklaşık 1 metre çapında bir alandan gerçekleştirilmiştir. Toplanan veriler regresyon analizine tabi tutularak, tansiyometre ölçümleri ile hacim bazında ifade edilen toprak nem oranları arasındaki ilişki ortaya konmuştur.

Ortaya konan ilişkinin gücü R^2 , RMSE yöntemleri ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Araştırma yeri toprak özellikleri

Derinlik (cm)	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	Bünye	Tarla Kapasitesi (%)	Solma Noktası (%)	Hacim Ağırlığı (g.cm ⁻³)
0-25	41.84	18.16	40	L	29.98	11.80	1.47
25-50	39.84	20.16	40	L	25.34	12.50	1.53
50-70	59.84	10.16	30	SL	19.41	8.99	1.55
70-90	31.84	28.16	40	CL	30.30	15.80	1.41
90-105	49.84	14.16	36	L	23.10	10.50	1.48

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Araştırmada tansiyometreden okunan değerler

ile gravimetrik yöntem ile elde edilen değerler arasındaki ilişki toprak derinlikleri özelinde Şekil

2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5’de verilmiştir.

Araştırma süresince pamuk bitkisi gelişikçe zamansal olarak tansiyometreden okunan değerlerin arttığı gözlenmiştir. Bu ise pamuk bitkisinin büyüdükçe hem daha derinlerden hem de yüzlek diğer köklerden daha çok su emdiği çıkarımı yapılmıştır.

Tansiyometrelerin kalibrasyon eğrilerinin oluşturulabilmesi amacıyla, araziye yerleştirilen cihazlardan her bir toprak katmanına ait negatif basınç değerleri okunurken, eş zamanlı olarak aynı derinlikten gravimetrik yöntemle toprak nem içerikleri de belirlenmiştir.

0–25 cm toprak derinliğine yerleştirilen tansiyometreden elde edilen negatif basınç (cbar) değerleri ile gravimetrik yöntemle belirlenen nem oranları karşılaştırıldığında, $y = 38.018 - 0.3685x$ denkleminde sahip ve $R^2 = 0.84$ seviyesinde olan bir doğrusal ilişki tespit edilmiştir. Aynı şekilde, 25–50 cm derinlikteki tansiyometre ölçümleri için yapılan analizde $y = 44.15 - 0.5292x$ denklemi ortaya çıkarken, bu ilişkinin belirleme katsayısı $R^2 = 0.74$ olarak belirlenmiştir. 50–70 cm derinliğine yerleştirilen tansiyometreden elde edilen değerlerin analizinde ise, $y = 49.503 - 0.4835x$ şeklindeki doğrusal denklem elde edilmiş ve bu ilişkinin uyum katsayısı $R^2 = 0.67$ olarak bulunmuştur.

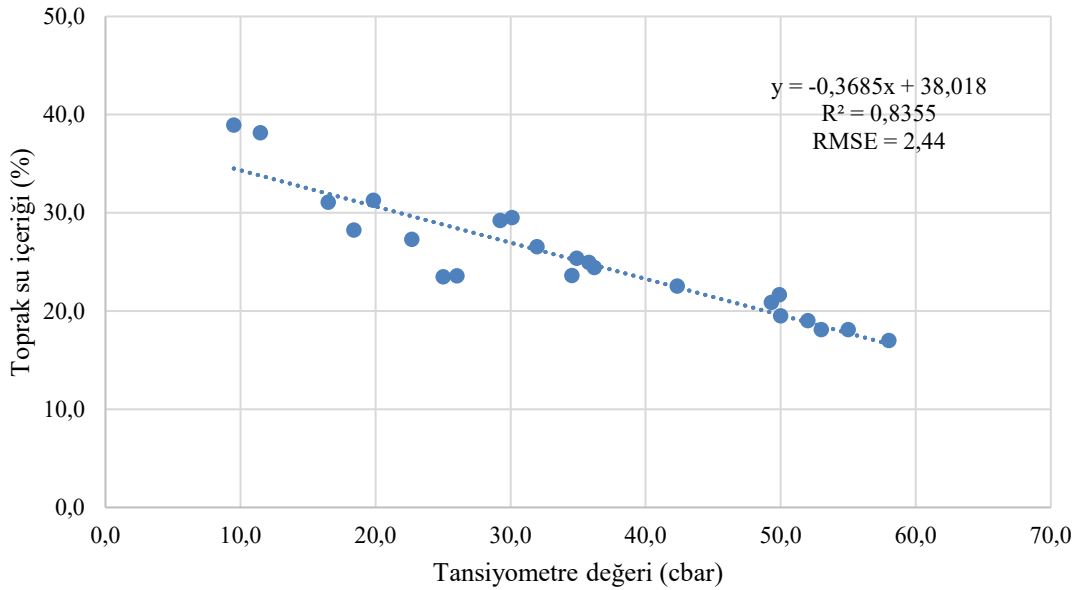
Tansiyometrenin performansı toprak derinliğine göre değişiklik göstermiştir. RMSE

değerleri göz önüne alındığında en iyi performans 0-25 cm toprak derinliğinden ($2,44 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) elde edilmiş olup bunu sırasıyla 50-70 ($4,46 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) cm ve 25-50 ($4,49 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) cm toprak derinlikleri takip etmiştir. Tüm toprak derinlikleri birlikte değerlendirildiğinde RMSE değeri $5,2 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ bulunmuştur.

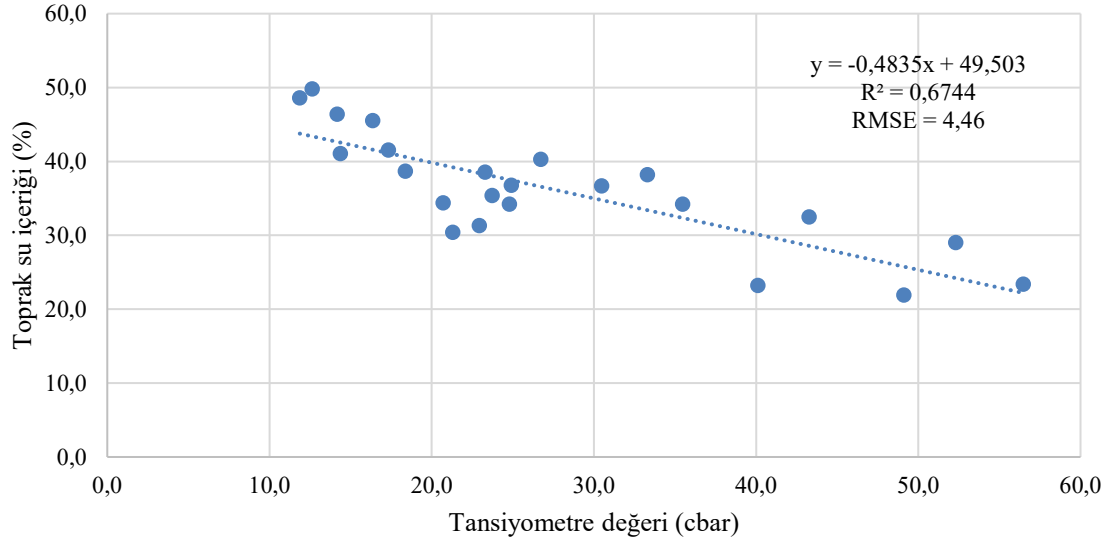
Arizona’da Martin ve ark. yaptıkları çalışmada tansiyometre ile nötronmetre verilerini karşılaştırmışlar 45 cm derinlikte 0.51, 75 cm derinlikte ise 0.75 determinasyon katsayısı (R^2) tespit etmişlerdir. Ancak onlar yaptıkları çalışmada nötronmetrenin gösterdiği değerleri önce gravimetrik yöntemle kalibre etmek yerine direk tansiyometre ile karşılaştırmışlardır. Bizim bu yaptığımız çalışmada ise temel ölçüm yöntemi olan gravimetrik yöntem ile elde edilen değerler tansiyometre değerleri karşılaştırılmıştır.

Öte yandan, Şener (1985) tarafından Ege Bölgesi’ndeki pamuk tarım alanlarında karık sulama yöntemiyle yürütülen araştırmada, tansiyometrenin 30 cm derinlikte daha düzgün çalıştığını ifade etmektedirler.

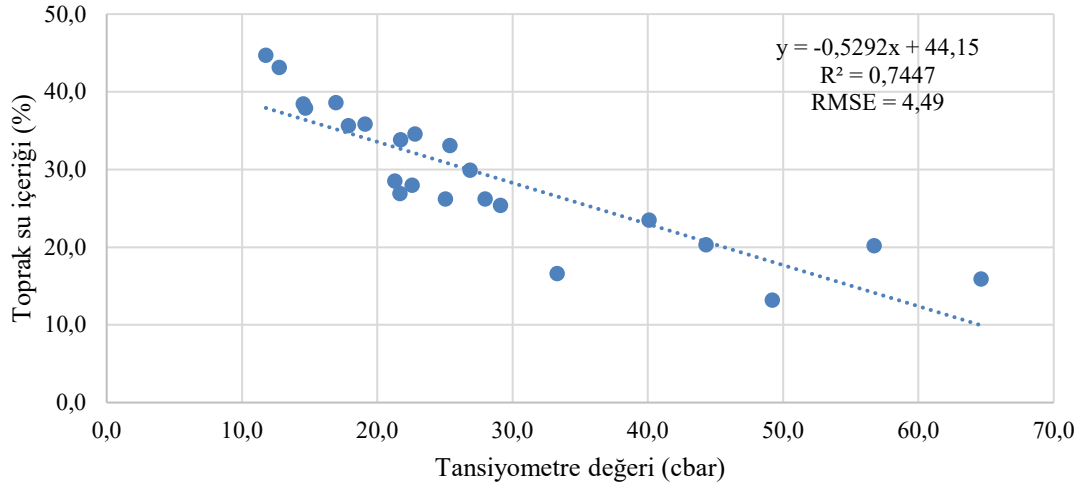
Diğer taraftan Kırnak ve ark. 2022’de yaptıkları bir çalışmada 30 cm derinlik için $R^2 = 0.89$, 60 cm derinlik için ise $R^2 = 0.48$ değerleri elde etmişlerdir. Tespit ettikleri bu sonuçlar bu çalışma açısından da olumlu olduğu düşünülmektedir.



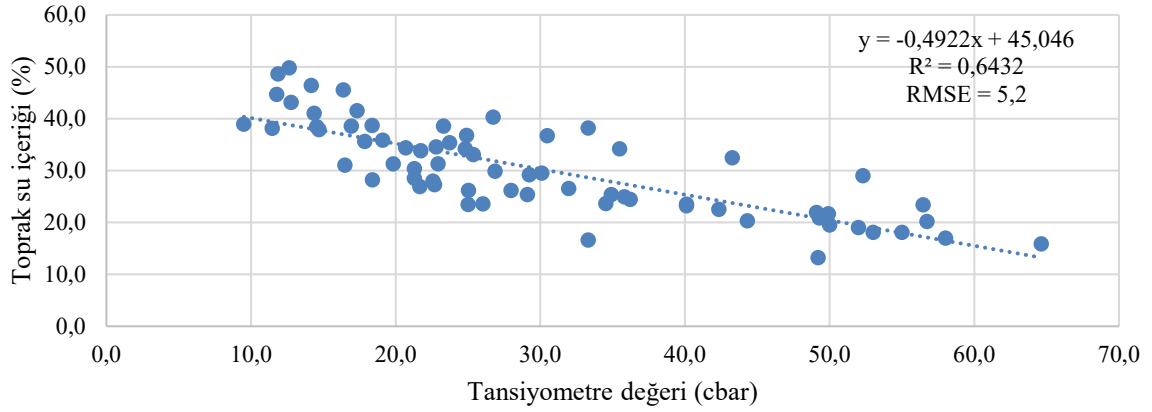
Şekil 2. 0-25 cm toprak katmanına ait kalibrasyon eğrisi ve eşitlik



Şekil 3. 0-25 cm toprak katmanına ait kalibrasyon eğrisi ve eşitliği



Şekil 4. 50-70 cm toprak katmanına ait kalibrasyon eğrisi ve eşitliği



Şekil 5 0-70 cm toprak katmanına ait ortalama kalibrasyon eğrisi ve eşitliği

Bu bulgular, tarımsal su kaynağı olarak kullanılan Nif Çayı için sürdürülebilir ve etkin su arıtma yöntemlerinin gerekliliğini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Son yıllarda, fitoremediasyon yöntemi; endüstriyel ve tarımsal kirlilik kaynaklı suların temizlenmesinde öne çıkan, doğa temelli bir çözüm olarak önem kazanmıştır (Shakir vd., 2017). Fitoremediasyonun başlıca avantajları arasında düşük maliyet, enerji verimliliği, çevre dostu yaklaşım ve ikincil atık oluşumunun minimumda tutulması yer almaktadır (Ali vd., 2013; Saleh vd., 2022). Ayrıca, kullanılan bitkilerin ekosistem hizmetlerine katkıda bulunması ve biyolojik çeşitliliği desteklemesi, yöntemin ekolojik değerini artırmaktadır. Özellikle sucul hiperakümülatör bitkiler örneğin; Su mercimeği (*Lemna minor*), Saz bitkisi (*Phragmites australis*), Hint hardalı (*Brassica juncea*), Su sümbülü (*Eichhornia crassipes*) ve Su Marulu (*Pistia stratiotes*) yüksek ağır metal tutma kapasiteleri nedeniyle öne çıkmaktadır (Shuvaeva vd., 2013; Valipour vd., 2010). Son yıllardaki saha uygulamaları, bu türlerin sulama sularındaki ağır metal konsantrasyonlarını önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir (Tomczyk vd., 2023). Bununla birlikte, fitoremediasyonun başarısı; seçilen bitki türü, yerel iklim koşulları, kirleticinin türü ve miktarı gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir (Drechsel vd., 2015; Scott vd., 2004). Bu bağlamda, doğal ve çevre dostu bir su arıtma yaklaşımı olan fitoremediasyon yönteminin, söz konusu bölgeye özgü çevresel koşullar altında uygulanabilirliğinin ve etkinliğinin belirlenebilmesi amacıyla, yerel ölçekte pilot çalışmaların gerçekleştirilmesi ve bu

uygulamaların uzun süreli izleme çalışmalarıyla desteklenmesinin söz konusu su kaynağında su kalite parametrelerinin iyileştirilmesinde etkin rol oynayacağı öngörülmektedir (Akyol vd., 2025). Uzun vadeli izleme, hem yöntemin kalıcılığı ve sürdürülebilirliği hem de potansiyel çevresel etkilerinin kapsamlı şekilde değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahip olacağı da düşünülmektedir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Gravimetrik yöntem, toprak neminin doğrudan ölçümünde kullanılan temel yöntemlerden biri olmakla birlikte, uygulamada hem zahmetli olması hem de sınırlı bir alanı temsil etmesi nedeniyle, farklı çalışma prensiplerine sahip çeşitli cihazlar yaygın biçimde tercih edilmektedir. Bu tür cihazların sağlıklı ve hassas ölçüm yapabilmesi için, kullanılacakları toprak koşullarına uygun şekilde kalibre edilmesine bağlıdır.

Yapılan bu araştırmada, UTAEM sahasındaki tansiyometre aleti nem değerleri ile gravimetrik yöntem nem ölçüm değerleri karşılaştırılmıştır. Tansiyometrenin farklı toprak katmanlarındaki performansı şu şekilde özetlenebilir: 0–25 cm derinlik için R^2 değeri 0.84 ile en yüksek seviyede bulunurken, 25–50 cm katmanı için 0.67 ve 50–70 cm katmanı için ise 0.74 olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak tansiyometre aletinin gravimetrik ölçüm sonuçlarına yakın sonuçlar verdiği ancak derinlik artıkça doğruluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Bu deneme sahasındaki benzer toprak özelliklerinde kullanılması tavsiye edilmektedir.

Yazar katkısı: Fikir/Kavram, Tasarım ve Dizayn, Denetleme/Danışanlık, Kaynaklar, Malzemeler, Veri Toplama ve/veya İşleme kısımlarına her iki yazar eşit katkı sunmuş olup, Analiz ve/veya Yorum, Literatür Taraması, Yazı Yazan, Eleştirel İnceleme konularında Sinan ARAS tarafından katkıda bulunulmuştur. Tüm yazarlar makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar çatışması beyanı: Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir. Yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKÇA

- Akın, M., & Akın, G. (2007). Suyun Önemi Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil Tarih-Cografya Fakültesi Dergisi*, 47(2), 105–118.
- Devlet Su İşleri (DSİ), (2016). Su Kaynakları . <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>, Erişim Tarihi: Ocak 2025.

- Atalık, A. (2008). Su Sorunu Ve Tarımda Sulama Suyu Kullanımı. <http://www.karasaban.net/su-sorunu-ve-tarimda-sulama-suyukullanimi>. Erişim Tarihi: Ekim 2014.
- Burak, S., Duranyıldız, İ., & Yetiş, Ü. (1997). *Ulusal Çevre ve Eylem Planı: Su Kaynaklarının Yönetimi*.
- Çetin, Ö. (2003). Toprak-Su İlişkileri ve Toprak

- Suyu Ölçüm Yöntemleri (Ö. Çetin, Ed.; Vols. 258–25). Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Eskişehir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları.
- Gerçek, S. (1991). Harran Ovası Koşullarında Toprak Nem İçeriğinin Belirlenmesinde Kullanılan Nötronmetre, Tansiyometre ve Naylon Bloklarının Kalibrasyon Eğrilerinin Elde Edilmesi Üzerinde Bir Çalışma. Çukurova Üniversitesi.
- Güngör, Y., & Erözel, A. Z. (1994). Drenaj ve Arazi Islahı (Vol. 1341–389). *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*.
- Güngör, Y., Erözel, Z., & Yıldırım, O. (2000). Sulama (Vol. 1540). *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*.
- Güngör, Y., & Yıldırım, O. (1989). *Tarla sulama sistemleri* (Vols. 1155–325). Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları : 1155, Ders Kitabı : 325.
- Kirkham, M. B. (2014). Principles of soil and plant water relations. (Second Edition). Elsevier.
- MGM. (2014). İklim verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
- Öziş, İ., Baran, T., Durnabaşı, İ., & Özdemir, Y. (1997). Türkiye'nin Su Kaynakları Potansiyeli. *TMMOB Meteoroloji Mühendisler Odası Yayın Organı*, 2, 40–45.
- Öztaş, T. (1997). Toprağın Nem Tayininde Kullanılan Yeni Bir Yöntem TDR(Time Domain Reflectometry). *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(2), 331–339.
- Topraksu. (1971). Menemen Ovası Temel Toprak Etüdü. TOPRAKSU Genel Müdürlüğü Toprak ve Etüd Haritalama Dairesi Raporları Seri No:24, Ankara.
- Tülün, Y. (2005). Toprak Su İçeriğinin ve Yarayışlı Su Düzeylerinin TDR(Time Domain Reflectometry) ile Ölçülmesi ve Aletin Çeşitli Toprak Bünye Sınıflarında Kalibrasyonu, Yüksek Lisans Tezi . Çukurova Üniversitesi.